

# Simple membrane module for long-term sepn. of gas from gas or liquid

**Publication number:** DE4427354

**Publication date:** 1996-02-08

**Inventor:** WITZKO RICHARD (DE)

**Applicant:** GORE W L & ASS GMBH (DE)

**Classification:**

**- international:** *B01D53/22; B01D63/08; B01D53/22; B01D63/08;*  
(IPC1-7): B32B3/22; C09J5/06; B01D53/00; B01D53/22;  
B01D53/84; B01D63/00; B01D67/00; C02F1/44

**- European:** B01D53/22D2; B01D63/08D

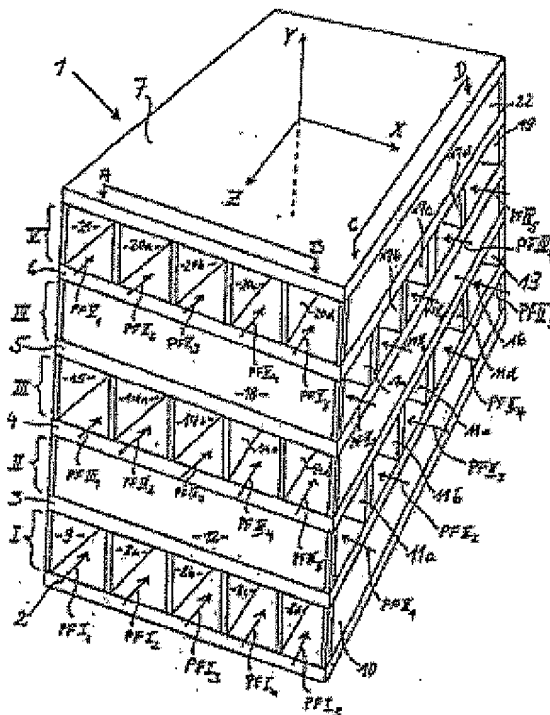
**Application number:** DE19944427354 19940802

**Priority number(s):** DE19944427354 19940802

[Report a data error here](#)

## Abstract of DE4427354

A membrane module for removing gases from a gas stream (liquid stream) comprises a stack of parallel, superimposed flat membrane layers of gas-permeable, liquid-impermeable material. The module has several fluid-conveying canal systems, the first of canals carrying the gas (liquid) stream to be purified and the second of canals carrying a liquid reaction mixt. or the like (washing water) and boundary walls, each formed by a membrane layer, between consecutive first and second canals in the axial direction. Each of the parallel superimposed fluid-carrying canal systems (I-V) is formed by 2 consecutive membrane layers (2,3; 3,4; 4,5; 5,6; 6,7) in the axial direction by joins (8a-8d, 11a-11d, 14a-14d, 17a-17d, 20a-20d). The joins from one system to the next are oriented alternately in different directions at a fixed angle, i.e. are alternately longitudinal and transverse. Also claimed is a method for making the module.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



Die Erfindung betrifft ein Membranmodul zur Entfernung von gasförmigen Stoffen aus einem Gasstrom (Flüssigkeitsstrom), mit den weiteren Merkmalen, wie diese im Oberbegriff des Patentanspruches 1 definiert sind. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Membranmoduls, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 25.

Aus der DE 40 27 126 C1 ist bereits eine Vorrichtung zur Entfernung von gasförmigen Stoffen aus einem gasförmigen Medium durch Mikroorganismen bekannt, wobei die dortigen Membranmodule im wesentlichen aus einem kastenförmigen Gehäuse bestehen, in welchem eine Vielzahl von flächigen Membrantaschen aus einem gasdurchlässigen, flüssigkeitsdichten Material angeordnet ist, wobei die Außenmaße dieser Membrantaschen den Innenmaßen des Gehäuses entsprechen. Zwischen den aufeinanderfolgend angeordneten Membrantaschen sind entlang der seitlichen Kanten stabförmige Abstandselemente vorgesehen, die einen bestimmten Abstand zwischen den Membrantaschen definieren. Das Membranmaterial kann zusätzlich Erhöhungen oder Verstärkungen aufweisen, so daß ein bestimmter Abstand zwischen zwei Membrantaschen über die gesamte Fläche sichergestellt ist. Jede der einzelnen Membrantaschen ist mit einer Zuleitung und einer Ableitung versehen, die in eine gemeinsame Versorgungs- bzw. Entsorgungsleitung münden. Das verwendete Membranmaterial ist gasdurchlässig und flüssigkeitsdicht, vorzugsweise wird eine Polyurethan-Folie eingesetzt. Werden solche bekannten Membranmodule beispielsweise zur Abgasreinigung verwendet, dann sind ganz erhebliche Membranflächen erforderlich. Um ein solches Verfahren wirtschaftlich einsetzen zu können, muß der Herstellungsaufwand minimiert werden. Das Anschließen der für jede Tasche separaten Zu- und Ableitungen an eine gemeinsame Versorgungs- und Entsorgungsleitung ist zeitaufwendig, kompliziert und störungsanfällig. Als weiteren Nachteil muß die Tatsache angesehen werden, daß sich die Membrantaschen unter dem Gewicht der in den Taschen befindlichen Flüssigkeit einseitig auswölben und dadurch den freien Strömungsquerschnitt für den Gasdurchtritt verringern. Eine exakte Berechnung des Strömungswiderstandes ist unter diesen Umständen nur schwer möglich, da er sich zeitabhängig ändert.

Sind die Seitenflächen der Membrantaschen mit Erhöhungen versehen, dann verteuert sich die Herstellung der Membrane und der Wirkungsgrad des Stoffaustausches durch die Membrane hindurch wird herabgesetzt.

Da die Membrantaschen lediglich seitlich gehalten sind, kann es vorkommen, daß die flexible Vorderkante unter dem Staudruck des Gasstromes hochklappt und benachbarte, für den Gasdurchtritt vorgesehene Zwischenräume verschließt.

In der nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung P 43 03 936.7 (AT: 10.293) wird ferner ein Membranmodul beschrieben, welches aus einer Vielzahl von flächigen, parallel zueinander und parallel zur Strömungsrichtung des Gasstromes angeordneten Membrantaschen besteht, von denen eine jede einen flachen, umlaufenden Rahmen aufweist, der auf beiden Seiten dichtend mit dem Membranmaterial bespannt ist und senkrecht zu seiner Rahmenebene wenigstens eine Zulaufbohrung und wenigstens eine Ablaufbohrung aufweist, welche die Membrane durchsetzen und zwischen den Membranen durch eine weitere Bohrung oder eine

Nut mit dem Raum verbunden sind, der von den Membranen und dem Rahmen umschlossen ist, wobei darüber hinaus mehrere Membrantaschen derart übereinander gestapelt sind, daß die Zulaufbohrungen und die Ablaufbohrungen jeweils übereinanderliegen und durchgehende Kanäle bilden. In einem solchen, durch aufeinanderfolgend angeordnete Membrantaschen gebildeten Stapel sind die jeweils zwischen den Membrantaschen seitlich angeordneten Abstandshalter als Dichtungen ausgebildet, die Bohrungen aufweisen, welche hinsichtlich Größe und Anordnung mit den Zulauf- und Ablaufbohrungen in dem Rahmen der Membrantaschen übereinstimmen, ferner sind in den jeweiligen Zwischenräumen zwischen den aufeinanderfolgenden Membrantaschen jeweils Stützstrukturen angeordnet, welche den Abstand zwischen den einzelnen Membrantaschen über die gesamte Fläche einer Tasche definieren und beispielsweise durch eine steife Folie mit Zickzack-Profil oder durch eine offenporige Struktur aus biegesteifen Fasern oder Draht gebildet sind. Ein derartiges Membranmodul erfordert die Fertigstellung verschiedener Einzelteile, insbesondere Rahmen, Stützstrukturen und Abstandshalter, welche zur Bildung des resultierenden Membranmoduls zusammengefügt und gegenseitig einjustiert werden müssen. Hierdurch wird insbesondere ein verhältnismäßig hoher Fertigungsaufwand bedingt.

Weiterhin wird in der nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung P 43 42 485.6 (AT: 13.1293) eine Vorrichtung zur Entfernung von gasförmigen Stoffen aus einem Gasstrom bzw. Flüssigkeitsstrom beschrieben, bei welcher ein Membranmodul vorgesehen ist, welches im wesentlichen flächige Membrantaschen aus einem flüssigkeitsdichten Material aufweist, die parallel zueinander und parallel zur Strömungsrichtung des Gasstromes angeordnet und zur Aufnahme einer Suspension von Mikroorganismen oder dergleichen eingerichtet sowie über einen Zulauf beschickbar und über einen Ablauf entleerbar sind. Für eine jede Membrantasche dieses Membranmoduls ist ein plattenförmiges Trägereil vorgesehen, an dessen eine Oberfläche angrenzend jeweils eine Membrantasche angeordnet und mit dieser Oberfläche randseitig abdichtend verbunden ist. Auf einer gegenüberliegenden Oberfläche des Trägereils ist eine Reihe von Durchströmungskanälen für Gasstrom ausgebildet, deren Begrenzungswände durch parallele Rippen gebildet sind, die in einem mittleren Bereich des Trägereils ausgeformt sind, wobei in den an diesen Bereich des Trägereils angrenzenden, beiden Seitenbereichen jeweils Zulauf- und Ablaufbohrungen für die Membrantaschen ausgeformt sind. Die Trägereile sind in dem Membranmodul gemäß der vorgenannten deutschen Patentanmeldung in der Weise übereinandergestapelt, daß sich jeweils eine Membran der Membrantaschen auf den freien Kanten der Rippen an einem jeweils benachbarten Trägereil abstützt und hierbei die offenen Seiten sämtlicher Durchströmungskanäle für den Gasstrom abdeckt, während die in jedem Trägereil ausgesparten Zulauf- und Ablaufbohrungen fluchtend übereinanderliegen und entsprechende Kanäle bilden, die durch den Stapel der Trägereile vollständig hindurchgehen.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes, verhältnismäßig einfach aufgebautes Membranmodul der eingangs definierten Art zu schaffen, welches sich insbesondere sehr wirtschaftlich fertigen läßt und so konstruiert ist, daß es auch über länger andauernde Betriebszeiten hinweg bei verbes-

sertem Wirkungsgrad definierte Stoffaustauschverhältnisse bietet. Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 angegebenen Merkmale gelöst.

Als Kerngedanke der vorliegenden Erfindung wird es angesehen, zur Ausbildung der übereinander angeordneten, fluidführenden Kanalsysteme je zwei in Axialrichtung des Membranmoduls aufeinanderfolgende Membranschichten durch Verbindungen miteinander zu verbinden, die jeweils im wesentlichen parallel zueinander verlaufen und Begrenzungen für nebeneinanderliegende Durchströmungskanäle jeweils eines Kanalsystems bilden, wobei diese Verbindungen von Kanalsystem zu Kanalsystem abwechselnd in unterschiedlichen Richtungen, insbesondere unter einem festen Winkel zueinander stehenden Richtungen, d. h. einmal im wesentlichen in der Längsrichtung, zum anderen im wesentlichen in der Querrichtung, dann wiederum in der Längsrichtung, darauf folgend wiederum in der Querrichtung usw. des Membranmoduls orientiert sind.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Membranmoduls ergeben sich aus den Unteransprüchen 2 bis 27.

Eine in konstruktiver Hinsicht besonders günstige weitere Ausbildung der Erfindung besteht darin, daß die in der Axialrichtung des Membranmoduls abwechselnden Orientierungen der Verbindungen zwischen jeweils zwei in Axialrichtung aufeinander folgenden Membranschichten im wesentlichen kreuzweise erfolgen, d. h. bei einem gegenseitigen Winkelversatz um jeweils 90°.

Die bei dem erfindungsgemäßen Membranmodul vorgesehenen Verbindungen können darüber hinaus im wesentlichen linienförmig oder quasilinienförmig ausgebildet sein. Infolgedessen können diese Verbindungen vorzugsweise durch Klebelinien oder Kleberaugen ausgebildet sein. Außerdem besteht die Möglichkeit, daß die Verbindungen durch stegförmige Verbindungselemente gebildet sind.

Im Falle von durch Klebelinien oder durch Kleberaugen gebildeten Verbindungen können diese beispielsweise aus einem durch Abkühlung erhärtenden, thermoplastischen Material, wie z. B. Polyethylen, Polypropylen, Polyester, oder aus einem Hochtemperatur-Thermoplast, wie z. B. Fluorethylenpropylen oder Perfluoralkoxy bestehen. Derartige Materialien erhärten durch Abkühlung nach dem Aufbringen in Form von Linien oder Raupen. Eine weitere vorteilhafte Möglichkeit besteht auch darin, daß die Verbindungen aus einem Kleber bestehen, beispielsweise aus einem Einkomponentenkleber, wie etwa Polyurethan oder Acrylat, oder aus einem Mehrkomponentenkleber, wie etwa Epoxiharz. Kleber dieser Art können beispielsweise per Düse oder per Gravurwalze aufgebracht werden und erhärten durch die Zufuhr von Wärme, UV-Bestrahlung oder Elektronenbestrahlung durch Luftfeuchtigkeit oder eine zeitlich ablaufende, chemische Reaktion.

Ferner ist es möglich, die wie oben erläuterten Verbindungen dadurch zu realisieren, daß von vorgefertigten Klebnetzen Gebrauch gemacht wird, die jeweils zwischen zwei in Axialrichtung des Membranmoduls aufeinanderfolgenden Membranschichten aufgebracht werden. Eine Fixierung solcher im Handel erhältlicher Klebnetze erfolgt durch Reaktivierung mittels Wärme. Anstelle von Klebnetzen können auch Kunststoff-Netze eingesetzt werden.

Es besteht ferner die Möglichkeit, daß die wie oben erläuterten Verbindungen aus Kunststoff-Schweißdrähten bestehen, beispielsweise aus Polypropylen-, Poly-

ethylen- oder PVC-Drähten, die im Handel in Form von Endlosrollen erhältlich sind. Bei der Anwendung werden diese Drähte, d. h. also nach dem Aufbringen auf die Oberflächen der entsprechenden Membranschichten, mittels Wärme reaktiviert.

Eine weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Membranmoduls ergibt sich auch dann, wenn die Verbindungen aus im wesentlichen linien- oder stegförmig ausgebildeten Spritzgußteilen bestehen, z. B. aus PVC-Spritzgußteilen, welche auf die Oberflächen der jeweiligen Membranschichten aufgebracht und z. B. mit diesen verschweißt oder verklebt werden können.

Bekanntlich hängt der Wirkungsgrad des Stoffaustausches in derartigen Membranmodulen, neben der Konstruktion der Module, die sich in allererster Linie auf die Strömungsverhältnisse auswirkt, auch von der Eignung der eingesetzten Membranmaterialien ab.

Beispielsweise eignen sich selektive Membranen oder Membranen mit einer selektiven Beschichtung zur Erzielung einer entsprechenden, selektiven Durchlässigkeit für Stoffe. Ein Beispiel für eine Membran mit einer selektiven Beschichtung ist die in der EP-B 01 08 499 offenbarte, mit einem Polysulfidpolymer beschichtete, expandierte PTFE-Membran.

Neben der bereits erwähnten Polyurethanfolie ist es aus der Mikrobiologie bekannt, Zellkulturen in Membrantaschen zu züchten, die luftdurchlässig und flüssigkeitsdicht sind. Als Material für derartige Membranen wurde Polyethylen und Polypropylen vorgeschlagen (US-A 3 184 395), Ethylen-Propylen-Copolymer (US-A 29 41 662) oder auch Silikongummi (WO 90/10690).

Alle diese Membranen haben die Eigenschaft, daß sie gasdurchlässig sind, d. h., daß sie jedenfalls Sauerstoffmoleküle passieren lassen.

Es wurde auch bereits vorgeschlagen, eine mikroporöse, gereckte PTFE-Membran einzusetzen, wie sie unter dem Handelsnamen GORE-TEX (eingetragenes Warenzeichen der Firma W.L. Gore & Associates) auf dem Markt erhältlich sind. Wegen ihrer Eigenschaft, Wasserdampf und Luft durchzulassen, Wasser aber zurückzuhalten, werden derartige Membranen in großem Maßstab bei der Herstellung von Sportkleidung verarbeitet. Die Herstellung derartiger Membranen ist in den US-Patentschriften 3 953 556 und 4 187 390 beschrieben.

Obwohl Membranmodule, die mit einer PTFE-Membran ausgerüstet sind, sich ganz allgemein als Reaktoren für das Stoffaustauschsystem "gasförmig/flüssig" eignen, hat sich gezeigt, daß bei der Abgasreinigung mit Hilfe von Mikroorganismen den Mikroorganismen durch die mikroporöse Membranstruktur zuviel Sauerstoff zugeführt wird. Diese Sauerstoffzufuhr beschleunigt das Wachstum bzw. die Vermehrung der Mikroorganismen in solchem Maße, daß in kurzer Zeit eine Verstopfung der Membranen bzw. der Membrantaschen zu beobachten ist. Der Strömungswiderstand der Membrantaschen wird dann so hoch, daß mit Druckdifferenzen gearbeitet werden müßte, denen die Membrantaschen mechanisch nicht standhalten können.

Es bestand daher ein Bedürfnis für eine Membran, die in erster Linie für die Abgasreinigung mit Hilfe von Mikroorganismen eingesetzt werden kann.

In der nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung P 43 26 677.0 (AT: 09.08.93) ist beschrieben, daß sich eine mikroporöse gereckte PTFE-Membran als geeignet erwiesen hat, die eine flächendeckende, kontinuierliche Beschichtung aus einem hydrophilen Material aufweist. Das hydrophile Material muß eine Wasser-

dampfdurchlässigkeit von wenigstens 1000 g pro Quadratmeter und Tag aufweisen. Solche Eigenschaften hat beispielsweise Polyurethan, das als Beschichtung in einer Menge von 1 bis 15 g pro Quadratmeter auf die PTFE-Folie aufgebracht werden kann. Die hydrophile Schicht kann aber auch ein Polyether-Polyurethan oder eine Membran aus Perfluorsulfonsäure sein.

Die Materialkombinationen entsprechen denen, die auch in der Bekleidungsindustrie eingesetzt werden. So ist in der US-A-41 94 041 ein zweischichtiges Laminat aus einer mikroporösen PTFE-Schicht und einer hydrophilen Schicht beschrieben, das im Rahmen der vorliegenden Erfindung ebenfalls eingesetzt werden kann. Auf den Offenbarungsgehalt dieser vorgenannten US-Patentschrift wird daher ausdrücklich Bezug genommen. Da der Wirkungsgrad des Stoffaustausches direkt von der Dicke der Membran abhängt, werden häufig Membranen verwendet, die so dünn sind, daß sie schlechte mechanische Eigenschaften haben, beispielsweise leicht einreißen. Um dies zu verhindern, werden die Membranen vorzugsweise mit einem luftdurchlässigen Trägermaterial verbunden, das vorzugsweise ein Vlies, eine Lochfolie oder ein textiles Material sein kann. Wenn dieses Schichtmaterial zu einer Membran verarbeitet wird, welche bei dem vorliegenden erfindungsgemäßen Membranmodul verwendet wird, muß darauf geachtet werden, daß das Trägermaterial nicht auf diejenige Membranoberfläche zu liegen kommt, welche unmittelbar mit einer flüssigen Reaktionsmischung oder einer Suspension von Mikroorganismen in Berührung gelangt, da derartige Mikroorganismen in die poröse Struktur des Trägermaterials eindringen und dessen Poren verstopfen. Bei Membranen, die mit einem Trägermaterial laminiert sind, muß dieses Trägermaterial auf diejenige Membranoberfläche zu liegen kommen, die durch den zu reinigenden Gasstrom (Flüssigkeitsstrom) beaufschlagt wird.

Um die Schwierigkeiten der Handhabung einer unsymmetrischen Membran zu vermeiden, kann auch eine symmetrisch aufgebaute Membran verwendet werden, wobei in einem solchen Fall das Trägermaterial zwischen zwei mikroporösen PTFE-Folien eingeschlossen wird, die jeweils mit einem hydrophilen Material, vorzugsweise Polyurethan beschichtet sind. Die Vorteile dieses symmetrischen Membranaufbaues werden bis zu einem gewissen Grad durch ihren geringeren Wirkungsgrad aufgewogen.

Der vorliegenden Erfindung liegt ferner die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zur Herstellung eines Membranmoduls zur Entfernung von gasförmigen Stoffen aus einem Gasstrom bzw. Flüssigkeitsstrom mit den weiteren Merkmalen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 28 anzugeben.

Dieses erfindungsgemäße Verfahren ist durch den Ablauf der Verfahrensschritte gemäß dem kennzeichnenden Teil des Anspruchs 28 gekennzeichnet.

Weitere vorteilhafte Verfahrensausgestaltungen ergeben sich jeweils aus den Unteransprüchen 29 bis 38.

Aufgrund des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens werden insbesondere zur Ausbildung von übereinander angeordneten, fluidführenden Kanalsystemen je zwei in Axialrichtung des Membranmoduls aufeinanderfolgende Membranschichten durch Einbringen oder Einfügen von Verbindungen in der Weise miteinander verbunden, daß diese Verbindungen jeweils im wesentlichen parallel zueinander verlaufen und Begrenzungen für nebeneinanderliegende Durchströmungskanäle jeweils eines der Kanalsysteme bilden, wobei diese Ver-

bindungen von Kanalsystem zu Kanalsystem abwechselnd in unterschiedlichen, unter einem festen Winkel zueinanderstehenden Richtungen, d. h. einmal im wesentlichen in der Längsrichtung, zum anderen im wesentlichen in der Querrichtung, dann wiederum im wesentlichen in der Längsrichtung, darauffolgend wiederum im wesentlichen in der Querrichtung usw. des Membranmoduls ausgerichtet werden. Zur Vervollständigung dieses Membranmoduls werden sodann dessen Außenseiten in eine aushärtbare Vergußmasse eingebettet, um hierdurch durch deren Aushärtung für jedes Kanalsystem an zwei einander gegenüberliegenden Außenseiten des Membranmoduls seitliche Begrenzungsstege oder -elemente auszubilden, die jeweils parallel zur Richtungsorientierung der jeweiligen Verbindungen in jedem der Kanalsysteme verlaufen und die seitlich äußersten, in der Ebene der entsprechenden Membranmodulaußenseite liegenden Verbindungen zwischen je zwei in Axialrichtung aufeinanderfolgenden Membranschichten bilden. Anschließend wird in denjenigen Bereichen der ausgehärteten Vergußmasse, welche die in der entsprechenden Membranmodulaußenseite liegenden Eintritts- und Austritts-Öffnungen der Durchströmungskanäle jeweils eines Kanalsystems verschließen, die Vergußmasse soweit wieder auf mechanischem Wege entfernt oder abgetragen, bis diese Eintritts- oder Austritts-Öffnungen in der erforderlichen Weise freigelegt sind.

Aufgrund des erfindungsgemäßen Membranmoduls bzw. des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Membranmoduls wird der besondere Vorteil erreicht, daß ein verhältnismäßig hoher Wirkungsgrad des Stoffaustausches erzielt wird, hinzu kommt, daß beim Aufbau des erfindungsgemäßen Membranmoduls Membranschichten mit verhältnismäßig dünnen Membran-Stärken verwendbar sind, da diese Membranschichten aufgrund der für sie vorgesehenen Verbindungen eine erhöhte Steifigkeit aufweisen und infolgedessen auch wesentlich besser weiter verarbeitbar sind.

Darüber hinaus können bei dem erfindungsgemäß ausgebildeten Membranmodul die Durchströmungskanäle der einzelnen fluidführenden Kanalsysteme einen im wesentlichen rechteckförmigen Querschnitt aufweisen und infolgedessen eine vergleichsweise hohe Durchflußrate bei verhältnismäßig geringer Bauhöhe erzielen. Letztendlich besitzt die Konstruktionsweise des vorliegenden, erfindungsgemäßen Moduls bei Vergleich mit dem Stand der Technik die Vorteile der Einfachheit und der kostengünstigen Herstellungsmöglichkeit.

Die vorliegende Erfindung wird nunmehr im Rahmen eines Ausführungsbeispiels näher erläutert, wobei auf die beigelegten Zeichnungen Bezug genommen wird. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine schematische perspektivische Ansicht eines Membranmoduls mit einer Anzahl von in Stapelbauweise parallel zueinander und übereinander angeordneten Membranschichten und mit einer Anzahl von fluidführenden Kanalsystemen, welche innerhalb eines Membranmoduls ausgebildet sind;

Fig. 2 schematisch eine Schnittansicht durch das Membranmodul gemäß Fig. 1, gedacht in der Schnittebene A-B gemäß Fig. 1;

Fig. 3 schematisch eine Schnittansicht durch das Membranmodul gemäß Fig. 1, und zwar gedacht in der Schnittebene C-D gemäß Fig. 1.

Wie aus den Zeichnungen ersichtlich ist, besteht ein allgemein mit der Bezugsziffer 1 bezeichnetes Membranmodul zur Entfernung von gasförmigen Stoffen aus

einem Gasstrom im wesentlichen aus einer Anzahl von in Richtung der Y-Achse in Stapelbauweise übereinander und parallel zu einander angeordneten, flächigen Membranschichten, in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel aus insgesamt sechs im wesentlichen rechteckförmig ausgebildeten Membranschichten 2, 3, 4, 5, 6 und 7, die aus einem gasdurchlässigen, flüssigkeitsdichten Material hergestellt sind, beispielsweise aus einem mikroporösen expandierten PTFE. Die Membranschichten können aber auch aus selektiven Membranen bestehen, oder es werden mit einer selektiven Schicht versehene Membranen verwendet, insbesondere dann, wenn es um die Abtrennung z. B. von CO<sub>2</sub> oder H<sub>2</sub>S geht.

Innerhalb dieses Membranmoduls 1 ist ferner eine Anzahl von ebenfalls in Richtung der Y-Achse übereinander angeordneten, fluidführenden Kanalsystemen ausgebildet, in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel insgesamt fünf fluidführende Kanalsysteme I, II, III, IV und V. Ein jedes dieser Kanalsysteme weist eine Anzahl von nebeneinander angeordneten, parallel zueinander verlaufenden Durchströmungskanälen auf, wobei die Kanalsysteme I, III und V jeweils eine Anzahl von ersten Durchströmungskanälen für den zu reinigenden Gasstrom enthalten, während andererseits die Kanalsysteme II und IV jeweils eine Anzahl von zweiten Durchströmungskanälen aufweisen, welche für die Aufnahme bzw. Durchleitung einer flüssigen Reaktionsmischung oder dergleichen, beispielsweise einer Suspension von Mikroorganismen dienen. Somit handelt es sich in dem vorliegend beschriebenen Ausführungsbeispiel eines Membranmoduls bei den Kanalsystemen I, III und V praktisch um gasführende Kanalsysteme, während es sich bei den Kanalsystemen II und IV praktisch um flüssigkeitsführende Kanalsysteme handelt.

Zur Ausbildung dieser Kanalsysteme sind jeweils zwei in Axialrichtung, d. h. in der Richtung der Y-Achse des Membranmoduls 1 aufeinanderfolgende Membranschichten 2 und 3 bzw. 3 und 4 bzw. 4 und 5 bzw. 5 und 6 bzw. 6 und 7 durch entsprechende Verbindungsstege 8a, 8b, 8c und 8d bzw. 11a, 11b, 11c und 11d bzw. 14a, 14b, 14c und 14d bzw. 17a, 17b, 17c, 17d bzw. 20a, 20b, 20c und 20d miteinander verbunden. In jedem der Kanalsysteme I bis V bilden somit diese jeweils im wesentlichen parallel zueinander verlaufenden Verbindungsstege die Begrenzungen für die nebeneinanderliegenden Durchströmungskanäle jeweils eines Kanalsystems, wobei diese Verbindungsstege 8a bis 8d bzw. 11a bis 11d bzw. 14a bis 14d, bzw. 17a bis 17d bzw. 20a bis 20d von Kanalsystem zu Kanalsystem abwechselnd in unterschiedlichen, im wesentlichen unter einem 90°-Winkel zueinander stehenden Richtungen, somit kreuzweise orientiert sind. Mit anderen Worten, die Verbindungsstege 8a bis 8d des ersten Kanalsystems I sind im wesentlichen in der Längsrichtung (Z-Achse) des Membranmoduls 1, die Verbindungsstege 11a bis 11d des zweiten Kanalsystems II im wesentlichen in der Querrichtung, d. h. in Richtung der X-Achse des Membranmoduls 1, die Verbindungsstege 14a bis 14d des dritten Kanalsystems in wiederum im wesentlichen in der Längsrichtung (Z-Achse) des Membranmoduls 1, darauf folgend die Verbindungsstege 17a bis 17d des vierten Kanalsystems IV wiederum im wesentlichen in der Querrichtung des Membranmoduls, und schließlich die Verbindungsstege 20a bis 20d des fünften Kanalsystems V in der Längsrichtung des Membranmoduls 1 ausgerichtet. Die wie oben erläuterten Verbindungsstege sind im allgemeinen so dimensioniert, daß sie eine Höhe im Bereich von 0,5 bis 5 mm, vorzugsweise im Bereich von 1 bis 2 mm so-

wie eine Breite im Bereich von 0,5 bis 5 mm, vorzugsweise im Bereich von 1 bis 2 mm, aufweisen.

Eine jede der Membranschichten 2 bis 7 kann auch aus einer Membran bestehen, die eine erste hydrophobe Schicht aufweist, die eine mikroporöse gereckte PTFE-Folie ist, sowie eine zweite hydrophile Schicht, die mit der ersten Schicht verbunden ist und eine Wasserdampfdurchlässigkeit von über 1000 g pro m<sup>2</sup> und Tag besitzt. Insbesondere weist eine solche Membran eine Dicke von 0,01 bis 0,5 mm, vorzugsweise eine Dicke von 0,05 bis 0,2 mm auf.

Die jeweils an den Außenseiten des Membranmoduls 1 liegenden Durchströmungskanäle müssen noch durch jeweilige äußere Begrenzungswände abgedichtet werden, und zu diesem Zweck ist ein jedes der Kanalsysteme I bis V an je zwei einander gegenüberliegenden Außenseiten des Membranmoduls 1 durch seitliche Begrenzungsstege 9, 10 bzw. 12, 13 bzw. 15, 16 bzw. 18, 19 bzw. 21, 22 begrenzt, wobei diese Begrenzungsstege jeweils parallel zur Richtungsorientierung der jeweiligen Verbindungsstege 8a bis 8d bzw. 11a bis 11d bzw. 14a bis 14d bzw. 17a bis 17d bzw. 20a bis 20d in jedem der Kanalsysteme I bzw. II bzw. III bzw. IV bzw. V verlaufen. Diese wie oben erläuterten Begrenzungsstege bilden somit die seitlich äußersten, in der Ebene der entsprechenden Membranmodulaußenseiten liegenden Verbindungen zwischen je zwei in Axialrichtung, d. h. in Richtung der Y-Achse aufeinanderfolgenden Membranschichten 2, 3 bzw. 3, 4 bzw. 4, 5 bzw. 5, 6 bzw. 6, 7.

In bevorzugter Weise bestehen diese äußeren Begrenzungsstege jeweils aus einer aushärtbaren Vergußmasse. Um dies zu erreichen, werden vorzugsweise die Außenseiten des Membranmoduls 1, nachdem dieses durch die Übereinanderstapelung der Membranschichten 2 bis 7 und durch die Herstellung der die Membranschichten jeweils gegenseitig verbindenden Verbindungsstege, wie oben erläutert, gefertigt worden ist, in eine aushärtbare Vergußmasse eingebettet, um hierdurch nach dem Aushärten dieser Vergußmasse für jedes Kanalsystem I, II, III, IV und V an zwei einander gegenüberliegenden Außenseiten des Membranmoduls 1 die wie oben erläuterten Begrenzungsstege auszubilden, die jeweils parallel zur Richtungsorientierung der jeweiligen Verbindungsstege in jedem der Kanalsysteme verlaufen und somit die seitlich äußersten, in der Ebene der entsprechenden Membranmodulaußenseite liegenden Verbindungen zwischen je zwei in Axialrichtung, d. h. in Richtung der Y-Achse, aufeinanderfolgenden Membranschichten 2, 3 bzw. 3, 4 bzw. 4, 5 bzw. 5, 6 bzw. 6, 7 bilden. Im Anschluß an diesen Vorgang wird in den Bereichen der ausgehärteten Vergußmasse, welche zunächst die in der entsprechenden Membranmodulaußenseite liegenden Eintritts- und Austritts-Öffnungen der einzelnen Durchströmungskanäle je eines Kanalsystems verschließen, die Vergußmasse soweit wieder entfernt, vorzugsweise auf mechanischem Wege wieder abgetragen, bis diese Eintritts- und Austrittsöffnungen in der erforderlichen Weise freigelegt sind.

Die Verbindungsstege 8a bis 8d bzw. 11a bis 11d bzw. 14a bis 14d bzw. 17a bis 17d bzw. 20a bis 20d können beispielsweise aus PVC-Spritzgußteilen hergestellt sein.

Das wie oben im Rahmen eines Ausführungsbeispiels beschriebene Membranmodul 1 setzt sich somit insgesamt aus den folgenden fünf fluidführenden Kanalsystemen zusammen: einem ersten Kanalsystem I, welches fünf parallel nebeneinanderliegende Durchströmungskanäle für den zu reinigenden Gasstrom enthält, wobei die Strömungsrichtungen in der Z-Achse durch PFI,

PFI<sub>2</sub>, PFI<sub>3</sub>, PFI<sub>4</sub> und PFI<sub>5</sub>, gekennzeichnet sind. Einem zweiten Kanalsystem II, welches fünf parallel nebeneinander verlaufende Durchströmungskanäle für "Waschwasser" aufweist, wobei die Strömungsrichtungen durch diese Durchströmungskanäle rechtwinkelig zu den Durchströmungskanälen des ersten Kanalsystems, d. h. in Richtung der X-Achse verlaufen und durch die Pfeile PFI<sub>11</sub>, PFI<sub>12</sub>, PFI<sub>13</sub>, PFI<sub>14</sub> und PFI<sub>15</sub> gekennzeichnet sind.

Einem dritten Kanalsystem III, welches wiederum fünf parallel nebeneinanderliegende Durchströmungskanäle in Richtung der Z-Achse aufweist, wobei diese Kanäle wiederum durch den zu reinigenden Gasstrom in den angedeuteten Richtungen in Richtung der Z-Achse durchströmt werden, gekennzeichnet durch PFI<sub>21</sub>, PFI<sub>22</sub>, PFI<sub>23</sub>, PFI<sub>24</sub> und PFI<sub>25</sub>.

Einem vierten Kanalsystem IV, welches wiederum fünf parallel nebeneinanderliegende Durchströmungskanäle für "Waschwasser" aufweist, wobei die Strömungsrichtungen in gleicher Weise wie bei dem Kanalsystem II in der X-Achse ausgerichtet sind, gekennzeichnet durch PFI<sub>31</sub>, PFI<sub>32</sub>, PFI<sub>33</sub>, PFI<sub>34</sub> und PFI<sub>35</sub>.

Schließlich einem fünften Kanalsystem V, welches fünf parallel nebeneinanderliegende Durchströmungskanäle für den zu reinigenden Gasstrom aufweist, wobei die Strömungsrichtungen wiederum in der Z-Achse verlaufen, in gleicher Weise wie bei den Kanalsystemen I und III, nunmehr gekennzeichnet durch PFI<sub>41</sub>, PFI<sub>42</sub>, PFI<sub>43</sub>, PFI<sub>44</sub> und PFI<sub>45</sub>.

Wie bereits oben erläutert, sind die bei dem Membranmodul 1 in Axialrichtung aufeinanderfolgenden fluidführenden Kanalsysteme I bis V mit ihren jeweiligen Durchströmungskanälen jeweils durch eine Membranschicht voneinander getrennt, d. h. die Membranschicht 3 bildet eine Begrenzungswand zwischen dem Kanalsystem I und dem Kanalsystem II, die Membranschicht 4 bildet eine Begrenzungswand zwischen dem Kanalsystem II und dem Kanalsystem III, die Membranschicht 5 bildet eine Begrenzungswand zwischen dem Kanalsystem III und dem Kanalsystem IV und schließlich bildet die Membranschicht 6 eine Begrenzungswand zwischen dem Kanalsystem IV und dem Kanalsystem V. Infolgedessen kommt es zu dem angestrebten Stoffaustausch "gasförmig/flüssig" zwischen den in der Richtung der Y-Achse übereinander angeordneten Kanalsystemen I bis V, wie bereits oben erläutert.

Im übrigen läßt sich das im vorangehenden beschriebene Membranmodul nicht nur zur Reinigung von Gasen einsetzen, sondern auch zur Reinigung von Flüssigkeiten.

#### Patentansprüche

1. Membranmodul zur Entfernung von gasförmigen Stoffen aus einem Gasstrom (Flüssigkeitsstrom), mit einer Vielzahl von in Stapelbauweise und im wesentlichen parallel zueinander und übereinander angeordneten, flächigen Membranschichten, die aus einem gasdurchlässigen, flüssigkeitsdichten Material bestehen, wobei innerhalb des Membranmoduls eine Vielzahl von fluidführenden Kanalsystemen ausgebildet ist, die einerseits aus ersten Durchströmungskanälen für den zu reinigenden Gasstrom (Flüssigkeitsstrom) und andererseits aus zweiten Durchströmungskanälen für eine flüssige Reaktionsmischung oder dergleichen ("Waschwasser") bestehen, und wobei wenigstens eine Begrenzungswand zwischen den in Axialrichtung aufeinanderfolgenden, ersten und zweiten Durchströmungskanälen durch jeweils eine der Membranschichten gebildet ist, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ausbildung der übereinander angeordneten, fluidführenden Kanalsysteme (I—V) je zwei in Axialrichtung des Membranmoduls (1) aufeinanderfolgende Membranschichten (2, 3 bzw. 3, 4 bzw. 4, 5 bzw. 5, 6 bzw. 6, 7) durch Verbindungen (8a bis 8d bzw. 11a bis 11d bzw. 14a bis 14d bzw. 17a bis 17d bzw. 20a bis 20d) miteinander verbunden sind, die jeweils im wesentlichen parallel zueinander verlaufen und Begrenzungen für nebeneinanderliegende Durchströmungskanäle jeweils eines Kanalsystems (I bis V) bilden, und daß die Verbindungen von Kanalsystem zu Kanalsystem abwechselnd in unterschiedlichen, unter einem festen Winkel zueinander stehenden Richtungen, d. h. einmal im wesentlichen in der Längsrichtung, zum anderen im wesentlichen in der Querrichtung, dann wiederum im wesentlichen in der Längsrichtung, darauf folgend wiederum im wesentlichen in der Querrichtung usw. des Membranmoduls (1) orientiert sind.
2. Membranmodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die abwechselnden Orientierungen der Verbindungen kreuzweise, d. h. unter jeweils im wesentlichen 90°-Winkeln erfolgen.
3. Membranmodul nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen im wesentlichen linienförmig oder quasi-linienförmig ausgebildet sind.
4. Membranmodul nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen durch Klebelinien oder Kleberaugen gebildet sind.
5. Membranmodul nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen durch stegförmige Verbindungselemente gebildet sind.
6. Membranmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen aus einem durch Abkühlung aushärtenden, thermoplastischen Material, wie Polyethylen, Polypropylen, Polyester, oder aus einem Hochtemperatur-thermoplast, wie z. B. Fluorethylenpropylen oder Perfluoralkoxy oder dergleichen bestehen.
7. Membranmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen aus einem Kleber, wie einem Einkomponentenkleber oder Mehrkomponentenkleber oder dergleichen bestehen.
8. Membranmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen aus vorgefertigten Kleber- oder Kunststoff-Netzen bestehen.
9. Membranmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen aus Kunststoff-Schweißdrähten bestehen.
10. Membranmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen aus im wesentlichen linien- oder stegförmig ausgebildeten Spritzgußteilen, z. B. aus PVC, bestehen.
11. Membranmodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen so dimensioniert sind, daß sie eine Höhe im Bereich von 0,5 bis 5 mm, vorzugsweise im Bereich von 1 bis 2 mm aufweisen.
12. Membranmodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen so dimensioniert sind, daß sie eine Breite im Bereich von 0,5 bis 5 mm, vorzugsweise

mungskanälen durch jeweils eine der Membranschichten gebildet ist, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ausbildung der übereinander angeordneten, fluidführenden Kanalsysteme (I—V) je zwei in Axialrichtung des Membranmoduls (1) aufeinanderfolgende Membranschichten (2, 3 bzw. 3, 4 bzw. 4, 5 bzw. 5, 6 bzw. 6, 7) durch Verbindungen (8a bis 8d bzw. 11a bis 11d bzw. 14a bis 14d bzw. 17a bis 17d bzw. 20a bis 20d) miteinander verbunden sind, die jeweils im wesentlichen parallel zueinander verlaufen und Begrenzungen für nebeneinanderliegende Durchströmungskanäle jeweils eines Kanalsystems (I bis V) bilden, und daß die Verbindungen von Kanalsystem zu Kanalsystem abwechselnd in unterschiedlichen, unter einem festen Winkel zueinander stehenden Richtungen, d. h. einmal im wesentlichen in der Längsrichtung, zum anderen im wesentlichen in der Querrichtung, dann wiederum im wesentlichen in der Längsrichtung, darauf folgend wiederum im wesentlichen in der Querrichtung usw. des Membranmoduls (1) orientiert sind.

2. Membranmodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die abwechselnden Orientierungen der Verbindungen kreuzweise, d. h. unter jeweils im wesentlichen 90°-Winkeln erfolgen.

3. Membranmodul nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen im wesentlichen linienförmig oder quasi-linienförmig ausgebildet sind.

4. Membranmodul nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen durch Klebelinien oder Kleberaugen gebildet sind.

5. Membranmodul nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen durch stegförmige Verbindungselemente gebildet sind.

6. Membranmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen aus einem durch Abkühlung aushärtenden, thermoplastischen Material, wie Polyethylen, Polypropylen, Polyester, oder aus einem Hochtemperatur-thermoplast, wie z. B. Fluorethylenpropylen oder Perfluoralkoxy oder dergleichen bestehen.

7. Membranmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen aus einem Kleber, wie einem Einkomponentenkleber oder Mehrkomponentenkleber oder dergleichen bestehen.

8. Membranmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen aus vorgefertigten Kleber- oder Kunststoff-Netzen bestehen.

9. Membranmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen aus Kunststoff-Schweißdrähten bestehen.

10. Membranmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen aus im wesentlichen linien- oder stegförmig ausgebildeten Spritzgußteilen, z. B. aus PVC, bestehen.

11. Membranmodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen so dimensioniert sind, daß sie eine Höhe im Bereich von 0,5 bis 5 mm, vorzugsweise im Bereich von 1 bis 2 mm aufweisen.

12. Membranmodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen so dimensioniert sind, daß sie eine Breite im Bereich von 0,5 bis 5 mm, vorzugsweise



im Bereich von 1 bis 2 mm aufweisen.

13. Membranmodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jede der Membranschichten (2 bis 7) aus einer mikroporösen Membran besteht.

14. Membranmodul nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran aus einem gereckten PTFE besteht.

15. Membranmodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jede der Membranschichten (2 bis 7) aus einer selektiven Membran bzw. aus einer mit einer selektiven Schicht versehenen Membran besteht.

16. Membranmodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jede der Membranschichten (2 bis 7) aus einer Membran besteht, die eine erste hydrophobe Schicht aufweist, die eine mikroporöse gereckte PTFE-Folie ist, sowie eine zweite hydrophile Schicht, die mit der ersten Schicht verbunden ist und die eine Wasserdampfdurchlässigkeit von über 1000 g pro m<sup>2</sup> und Tag besitzt.

17. Membranmodul nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran eine Dicke von 0,01 bis 0,5 mm, vorzugsweise von 0,05 bis 0,2 mm aufweist.

18. Membranmodul nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß die hydrophile Schicht eine Beschichtung aus Polyurethan ist.

19. Membranmodul nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtung in einer Menge von 5 bis 15 g pro m<sup>2</sup> aufgebracht ist.

20. Membranmodul nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß die hydrophile Schicht Polyether-Polyurethan ist.

21. Membranmodul nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß die hydrophile Schicht eine Membran aus Perfluorsulfonsäure ist.

22. Membranmodul nach einem der Ansprüche 16 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die hydrophobe Schicht und die hydrophile Schicht ein Laminat bilden.

23. Membranmodul nach einem der Ansprüche 16 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran mit einem luftdurchlässigen Trägermaterial verbunden ist, das vorzugsweise aus Vlies, Lochfolie oder Textil besteht.

24. Membranmodul nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Trägermaterial zwischen zwei Membranen eingeschlossen ist.

25. Membranmodul nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die hydrophile Schicht der Membran auf derjenigen Membranaußenseite liegt, die durch den zu reinigenden Gasstrom (Flüssigkeitsstrom) beaufschlagt wird.

26. Membranmodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Kanalsystem (I bis V) an zwei einander gegenüberliegenden Außenseiten des Membranmoduls (1) durch seitliche Begrenzungsstege (9, 10; 12, 13; 15, 16; 18, 19; 21, 22) begrenzt ist, die jeweils parallel zur Richtungsorientierung der jeweiligen Verbindungen (8a bis 8d; 11a bis 11d; 14a bis 14d; 17a bis 17d; 20a bis 20d) in jedem der Kanalsysteme verlaufen und die seitlich äußersten, in der Ebene der entsprechenden Membranmodulaußenseiten liegenden Verbindungen zwischen je zwei in Axialrichtung aufeinanderfolgenden Membranschichten

(2, 3; 3, 4; 4, 5; 5, 6; 6, 7) bilden.

27. Membranmodul nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Begrenzungsstege (9, 10; 12, 13; 15, 16; 18, 19; 21, 22) aus einer aushärtbaren Vergußmasse bestehen.

28. Verfahren zur Herstellung eines Membranmoduls zur Entfernung von gasförmigen Stoffen aus einem Gasstrom (Flüssigkeitsstrom) mit einer Vielzahl von in Stapelbauweise und im wesentlichen parallel zueinander und übereinander anzuordnenden flächigen Membranschichten, die aus einem gasdurchlässigen, flüssigkeitsdichten Material bestehen, wobei innerhalb des Membranmoduls eine Vielzahl von fluidführenden Kanalsystemen ausgebildet wird, die einerseits aus ersten Durchströmungskanälen für den zu reinigenden Gasstrom (Flüssigkeitsstrom) und andererseits aus zweiten Durchströmungskanälen für eine flüssige Reaktionsmischung oder dergleichen ("Waschwasser") bestehen, und wobei wenigstens eine Begrenzungswand zwischen den in Axialrichtung aufeinanderfolgenden, ersten und zweiten Durchströmungskanälen durch jeweils eine der Membranschichten gebildet wird, insbesondere zur Herstellung eines Membranmoduls nach einem der Ansprüche 1 bis 24, gekennzeichnet durch den Ablauf der Schritte, daß zur Ausbildung von übereinander angeordneten, fluidführenden Kanalsystemen je zwei in Axialrichtung des Membranmoduls aufeinanderfolgende Membranschichten durch Einbringen oder Einfügen von Verbindungen in der Weise miteinander verbunden werden, daß diese Verbindungen jeweils im wesentlichen parallel zueinander verlaufen und Begrenzungen für nebeneinanderliegende Durchströmungskanäle jeweils eines Kanalsystems bilden, und von Kanalsystem zu Kanalsystem abwechselnd in unterschiedlichen, unter einem festen Winkel zueinander stehenden Richtungen, d. h. einmal im wesentlichen in der Längsrichtung, zum anderen im wesentlichen in der Querrichtung, dann wiederum im wesentlichen in der Längsrichtung, darauffolgend wiederum im wesentlichen in der Querrichtung und so fort des Membranmoduls ausgerichtet werden.

29. Verfahren nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß die abwechselnden Ausrichtungen der Verbindungen im wesentlichen kreuzweise, d. h. unter jeweils im wesentlichen 90°-Winkeln vorgenommen werden.

30. Verfahren nach Anspruch 28 oder 29, dadurch gekennzeichnet, daß im wesentlichen linienförmige oder quasi-linienförmige Verbindungen ausgebildet werden.

31. Verfahren nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen durch Klebelinien oder Kleberauppen gebildet werden.

32. Verfahren nach Anspruch 28 oder 29, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen durch stegförmige Verbindungselemente gebildet werden.

33. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen mittels eines durch Abkühlen aushärtenden, thermoplastischen Materials, wie Polyethylen, Polypropylen, Polyester, oder mittels eines Hochtemperatur-Thermoplasten, wie z. B. Fluorethylenpropylen oder Perfluoralkoxy oder dergleichen, hergestellt werden.

34. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 31,



dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen mittels eines Klebers, wie z. B. eines Einkomponentenklebers oder eines Mehrkomponentenklebers oder dergleichen, hergestellt werden.

35. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 31, 5  
dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen mittels vorgefertigter Kleber-Netze hergestellt werden.

36. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 31, 10  
dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen mittels Kunststoff-Schweißdrähten hergestellt werden.

37. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 32, 15  
dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungen mittels im wesentlichen linien- oder stegförmiger Spritzgußteile, vorzugsweise aus PVC, hergestellt werden.

38. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 37, 20  
dadurch gekennzeichnet, daß die Außenseiten des Membranmoduls in eine aushärtbare Vergußmasse eingebettet werden, um hierdurch nach deren Aushärtung für jedes Kanalsystem an zwei einander gegenüberliegenden Außenseiten des Membranmoduls seitliche Begrenzungsstege auszubilden, die jeweils parallel zur Richtungsorientierung der jeweiligen Verbindungen in jedem der Kanalsysteme verlaufen und die seitlich äußersten, in der Ebene der entsprechenden Membranmodulaußenseite liegenden Verbindungen zwischen je zwei in Axialrichtung aufeinanderfolgenden Membranschichten bilden, und daß anschließend in den Bereichen der ausgehärteten Vergußmasse, welche die in der entsprechenden Membranmodulaußenseite liegenden Eintritts- und Austritts-Öffnungen der Durchströmungskanäle jeweils eines Kanalsystems verschließen, die Vergußmasse soweit wieder auf mechanischem Wege entfernt oder abgetragen wird, bis diese Eintritts- oder Austritts-Öffnungen in der erforderlichen Weise freigelegt sind. 35

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

40

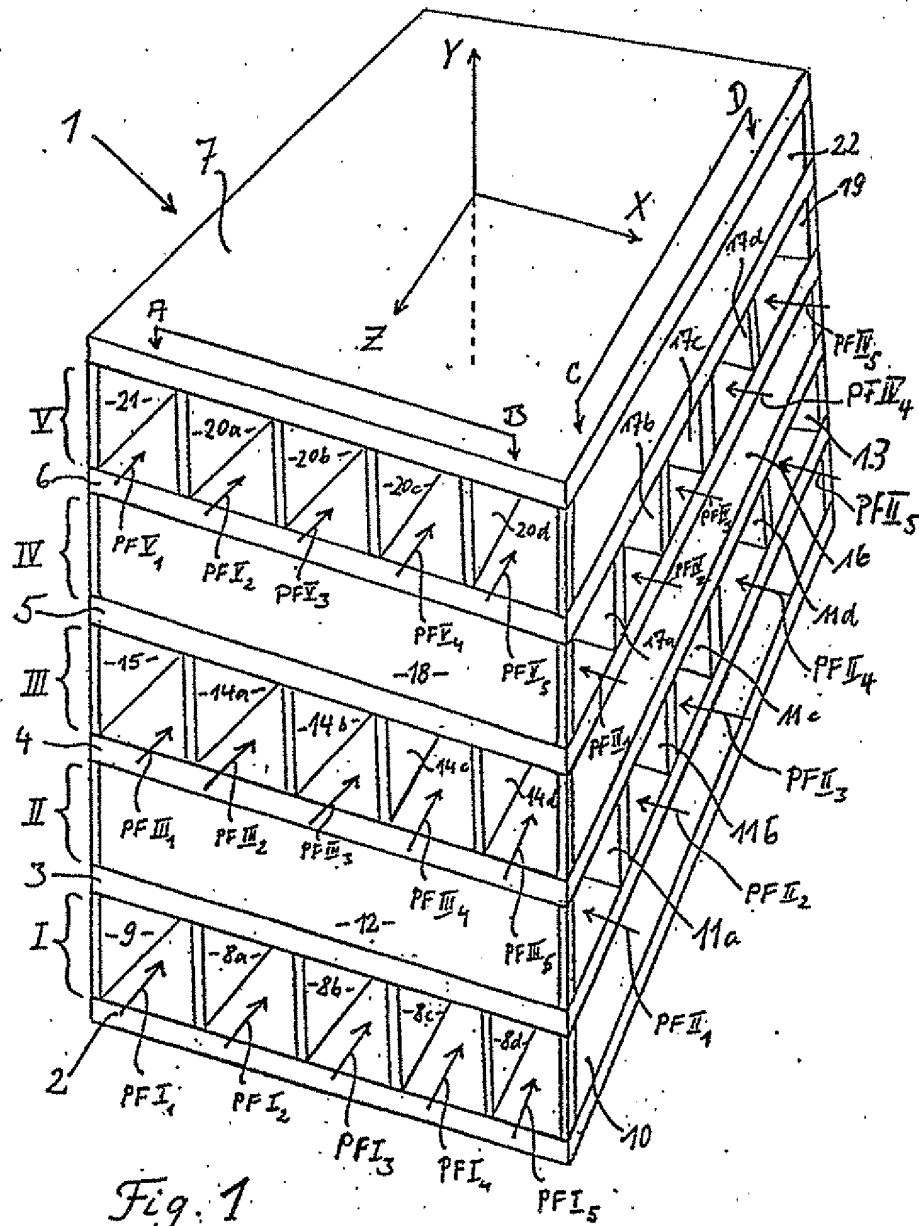
45

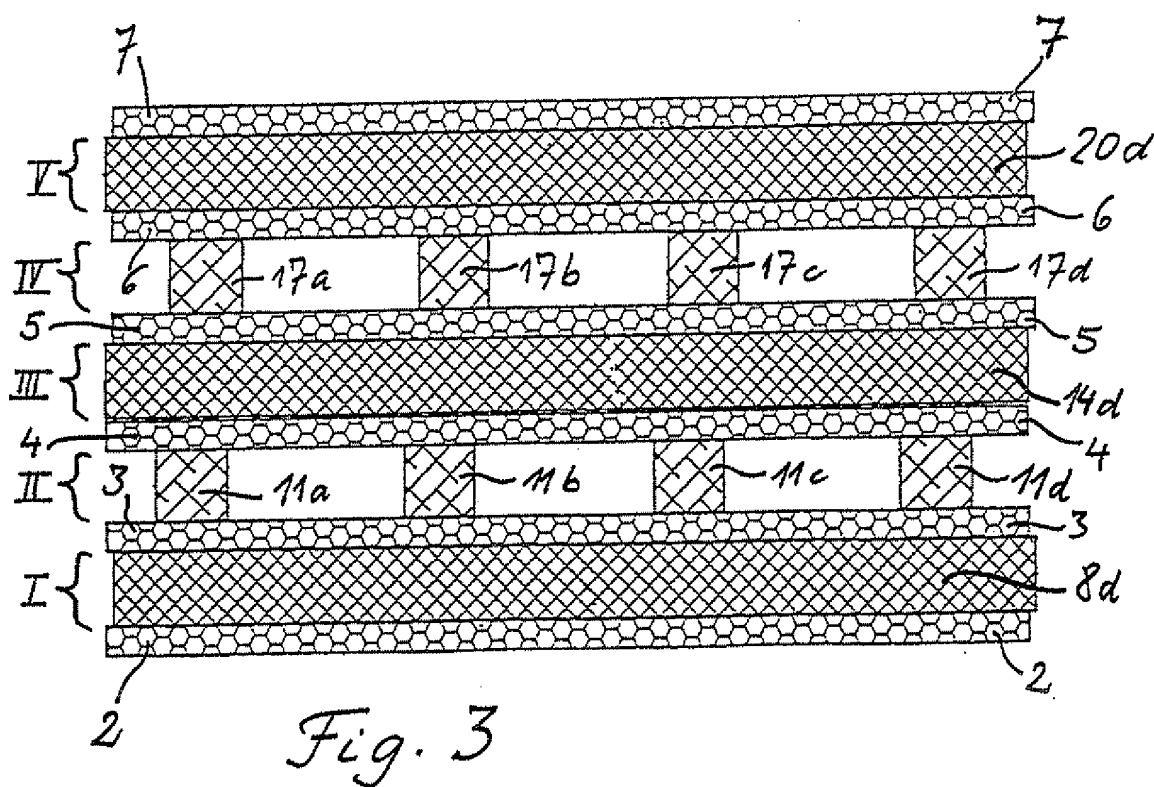
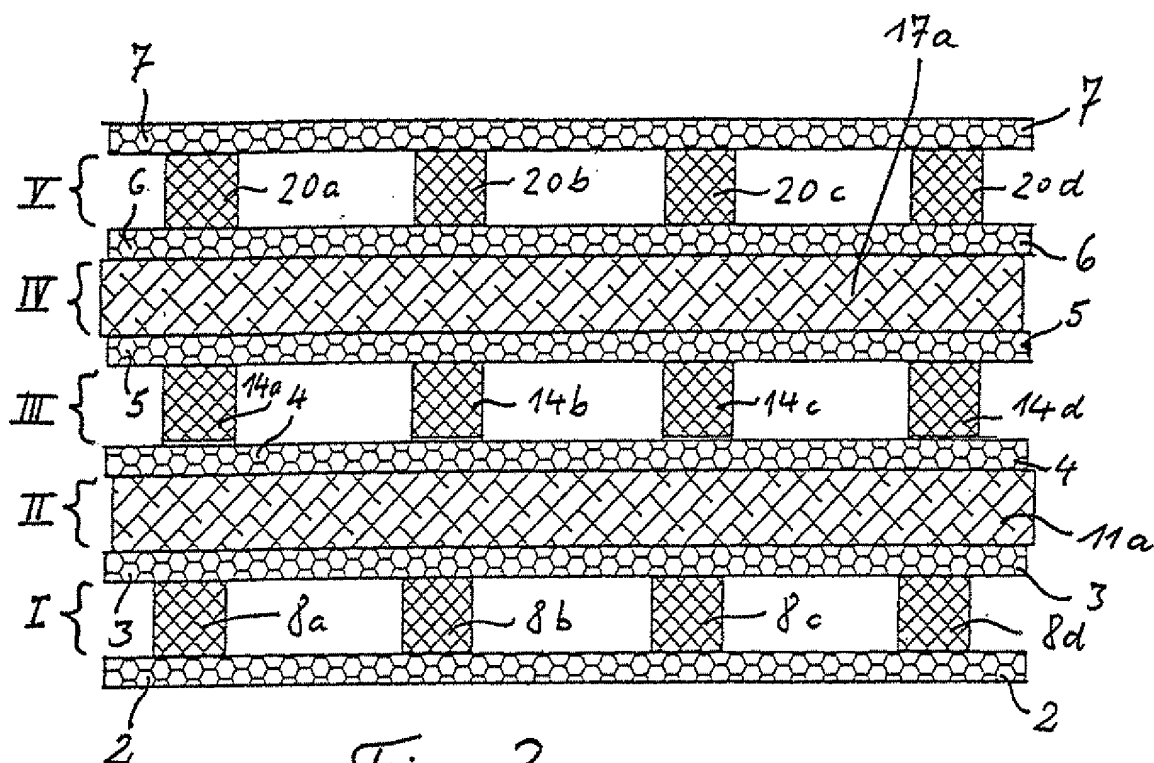
50

55

60

65





German Patent No. DE 44 27 354 A1  
(Offenlegungsschrift)

---

Job No.: 549-113692

Translated from German by the McElroy Translation Company

800-531-9977

[customerservice@mcelroytranslation.com](mailto:customerservice@mcelroytranslation.com)

Ref.: Pall/440490

FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY  
GERMAN PATENT OFFICE  
PATENT NO. DE 44 27 354 A1  
(Offenlegungsschrift)

Int. Cl.<sup>6</sup>: B 01 D 53/00  
B 01 D 53/22  
B 01 D 63/00  
C 02 F 1/44  
B 01 D 67/00  
B 01 D 53/84  
//B 32 B 3/22  
C 09 J 5/06

Filing No.: P 44 27 354.1

Filing Date: August 2, 1994

Publication Date: February 8, 1996

MEMBRANE MODULE FOR REMOVING GASEOUS SUBSTANCES FROM A GAS  
STREAM (FLUID STREAM) AND PROCESS FOR MANUFACTURING SUCH A  
MEMBRANE MODULE

Inventor: Richard Witzko  
85521 Riemerling, DE

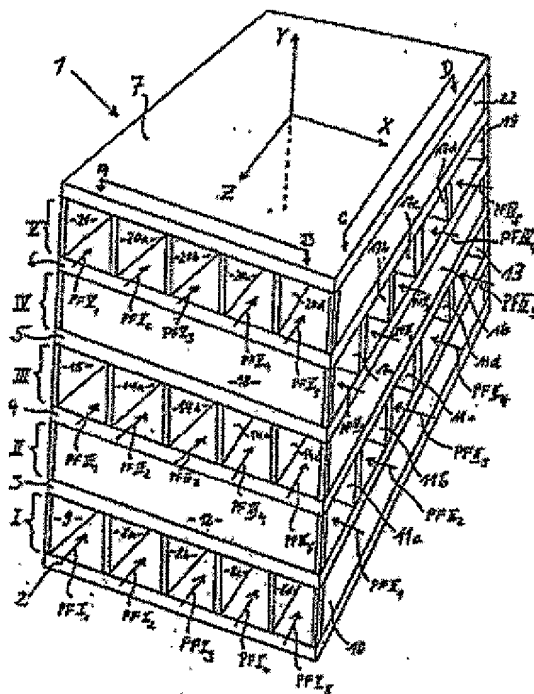
Applicant: W. L. Gore & Associates GmbH  
85640 Putzbrunn, DE

Agent: Klunker und Kollegan  
80797 Munich

The new membrane module for removing gaseous substances from a gas stream (fluid stream) comprises a plurality of flat membrane layers (2-7), which are arranged in a stack, substantially parallel to each other, and one above the other, which membrane layers consist of a gas-permeable, liquid-proof material. Within this membrane module (1), a plurality of fluid-conveying duct systems (I-V), which are arranged one above the other, is formed by the connection, in each case, of two membrane layers (2, 3, and 3, 4, and 4, 5 and 5, 6 and 6, 7, respectively) which are consecutive in the axial direction (Y) of the membrane module (1), by

connection crosspieces (8a-8d, and 11a-11d, and 14a-14d, and 17a-17d, and 20a-20d, respectively), where these connection crosspieces in each case are substantially parallel to each other and form delimiting walls for adjacent flow-through ducts of, in each case, one of the duct systems (I-V).

In addition, these connection crosspieces are oriented, from duct system to duct system, alternately at a different fixed angle of preferably substantially  $90^\circ$  in each case. Instead of crosspiece-shaped connection elements, one can also use substantially linear or near linear connections. The fluid-conveying duct systems (I-V) which are arranged on top of each other each consist alternately, on the one hand, of first flow-through ducts for a gas stream to be cleaned, and, on the other hand, of second ...



The following information has been taken from documents submitted by the applicant

### Description

The invention relates to a membrane module for removing gaseous substances from a gas stream (fluid stream) with the additional characteristics as defined in the preamble of Claim 1. The invention also relates to a process for manufacturing a membrane module according to the preamble of Claim 25.

From DE 40 27 126 C1, a device is already known for removing gaseous substances from a gaseous medium with microorganisms, where the membrane modules used here consist

substantially of a box-shaped housing, in which is arranged a plurality of flat membrane pouches made of a gas-permeable, liquid-proof material, where the external dimensions of these membrane pouches correspond to the internal dimensions of the housing. Between the consecutively arranged membrane pouches, rod-shaped separation elements are provided along the lateral edges, defining a certain separation between the membrane pouches. The membrane material can present additionally elevations or reinforcements, so that a certain separation is ensured between two membrane pouches over the entire surface. Each one of the individual membrane pouches is provided with an inlet line and an outlet line, which open into a common supply line and disposal line, respectively. The membrane material used is gas permeable and liquid-proof; a polyurethane film is used preferably. If such known membrane modules are used, for example, for waste gas cleaning, very large membrane surface areas are required. To be able to use such a process economically, the manufacturing cost must be minimized. The connection of the separate inlet lines and outlet lines for each pouch to a common supply [line] and disposal line is time-consuming, complicated, and susceptible to breakdown. The fact that the membrane pouches bulge out on one side due to the weight of the fluid located in the pocket, thus reducing the free-flow cross section for the gas passage, must be considered an additional disadvantage. Under these conditions, an exact calculation of the flow resistance can be made only with difficulty, because the resistance changes as a function of time.

If the side surfaces of the membrane pouches are provided with elevations, the cost of manufacturing the membrane is increased, and the degree of effectiveness of the substance exchange through the membrane is decreased.

Because the membrane pouches can only be held by the sides, it may happen that the flexible front edge is flipped up due to the dammed up pressure of the gas stream, and closes adjacent interstices provided for the gas passage.

Moreover, in the unpublished German Patent Application P 43 03 936.7 (AT February 10, 1993), a membrane module is described which consists of a plurality of flat membrane pouches that are parallel to each other, and also parallel to the stream direction of the gas stream, where each one of the pouches presents a flat circumferential frame on whose two sides the membrane material is stretched in a sealing manner, and which frame presents, perpendicular to its frame plane, at least one inlet bore and at least one outlet bore, which pass through the membrane and are connected between the membrane by an additional bore or a groove to the space which is enclosed by the membrane and the frame, where, moreover, several membrane pouches are stacked on top of each other so that the inlet bores and the outlet bores in each case form flow-through conveying ducts, which are arranged on top of each other. In such a stack, which has been formed by consecutively arranged membrane pouches, the spacers, which are arranged in each case laterally between the membrane pouches, are designed as seals that present



bores which, in terms of size and arrangement, match the inlet and outlet bores in the frame of the membrane pouches; furthermore, in the respective interstices between the consecutive membrane pouches, supporting structures are arranged in each case, which define the separation between the individual membrane pouches over the entire surface of the pouch, and which are formed, for example, by a stiff film presenting a zig-zag profile, or by an open-pore structure made of bending resistant fibers or wire. Such a membrane module requires the construction of different individual parts, particularly frames, supporting structures and separation holders, which must be assembled and mutually fitted to form the resulting membrane module. The result is particularly a relatively high manufacturing cost.

Moreover, in the unpublished German Patent Application P 43 42 485.6 (Publication Date: December 13, 1993), a device is described for removing gaseous substances from a gas stream or fluid stream, where a membrane module is provided which presents substantially flat membrane pouches made of a liquid-proof material, which pouches are arranged parallel to each other and parallel to the flow direction of the gas stream; they are set up to receive a suspension of microorganisms or similar parts, and the membranes can be fed through an inlet or emptied through an outlet. A plate-shaped carrier part is provided for each one of the membrane pouches of this membrane module, where on one surface of the carrier part, an abutting membrane pouch is arranged in each case, and connected to seal on the margin to this surface. On a facing surface of the carrier part, a row of flow-through ducts for a gas stream is formed, where the delimitation walls of said ducts are formed by parallel ribs, which are molded in a central area of the carrier part, and where, in each case, inlet and outlet bores for the membrane pouches are formed in the two lateral areas which abut against this area of the carrier part. The carrier parts, in the membrane module according to the above-mentioned patent application, are stacked on top of each other in such a way that, in each case, a membrane of the membrane pouches is supported at the free edges of the ribs on an adjacent carrier part, and here covers the open sides of all the flow-through ducts for the gas stream, while the inlet and outlet bores that have been produced in each carrier part are in alignment and one above the other, and they form corresponding ducts which pass completely through the stack of the carrier parts.

The present invention is based on the problem of providing an improved, relatively simply constructed, membrane module of the type defined in the introduction, which can be manufactured in particular very economically, and which is constructed so that it allows defined substance exchange ratios even over longer operating times, while having an improved degree of effectiveness. This problem is solved according to the invention by the characteristics indicated in the characterizing portion of Claim 1.

The central idea of the present invention is considered to be that, for the formation of the fluid-conveying duct systems which are arranged on top of each other, in each case two

membrane layers, which are consecutive in the axial direction of the membrane module, are to be connected to each other by connections which are in each case substantially parallel to each other and which form delimitations for adjacent flow-through ducts of one duct system in each case, where these connections, from duct system to duct system, are oriented alternately in different directions, particularly different directions that form a fixed angle with respect to each other, i.e., once substantially in the longitudinal direction, then substantially in the transverse direction, then again in the longitudinal direction, and again in the transverse direction, etc., of the membrane module.

Additional advantageous embodiments of the membrane module according to the invention are indicated in the dependent Claims 2-27.

According to an embodiment of the invention which is particularly advantageous from the point of view of construction, the orientations of the connections between two membrane layers which are consecutive in the axial direction, which orientations alternate in the axial direction of the membrane module, are substantially crosswise, i.e., with a mutual angular offset of  $90^\circ$ , in each case.

The connections that are provided in the membrane module according to the invention can, moreover, be designed to be substantially linear or nearly linear. As a result, these connections can be made advantageously with glue lines or glue beads. In addition, there is the possibility of forming the connections with crosspiece-shaped connection elements.

In the case of connections that are formed by glue lines or by glue beads, the latter can consist, for example, of a thermoplastic material which hardens when cooled such as, for example, polyethylene, polypropylene, polyesters, or of a high-temperature thermoplast such as, for example, fluorinatedethylene-propylene copolymer or perfluoroalkoxy. Such materials harden when cooled after they have been applied in the form of lines or beads. Another advantageous possibility consists in using connections that consist of a glue, for example, a one-component glue such as, for example, polyurethane or acrylate, or a multicomponent glue such as, for example, epoxy resin. Glues of this type can be applied, for example, with a die or with an engraving roller, and they harden when heat is applied, or when exposed to UV radiation or electronic radiation, as a result of the humidity of air or of a chemical reaction that runs over time.

Furthermore, it is possible to produce the above-explained connections by using prefabricated glue nets which, in each case, are applied between two membrane layers which are consecutive in the axial direction of the membrane module. The fixation of such commercially available glue nets is achieved by reactivation with heat. Instead of glue nets one can also use plastic nets.

Furthermore, the above-explained connections may consist of plastic welding wires, which are made, for example, of polypropylene, polyethylene, or PVC wires that are available commercially in the form of endless rolls. When these wires are used, i.e., after they have been applied to the surface of the corresponding membrane layers, they are reactivated with heat.

Another embodiment of the membrane module according to the invention is obtained if the connections consist of substantially linear or crosspiece-shaped designed injection molded parts, for example, of PVC injection molded parts, which are applied to the surface of the given membrane layers and which can be welded or glued to them, for example.

It is known that the degree of effectiveness of the substance exchange in such membrane modules depends not only on the construction of the module, which affects primarily the flow conditions, but also on the suitability of the membrane materials used.

For example, selective membranes or membranes with a selective coating are suitable for achieving a corresponding, selective, permeability for substances. An example of a membrane with a selective coating is described in EP-B 01 08 499, which membrane consists of an expanded PTFE membrane coated with a polysulfide polymer.

In addition to the already mentioned polyurethane film, it is known from microbiology to grow cell cultures in membrane pouches which are air permeable and liquid-proof. As materials for such membranes, polyethylene and polypropylene have been proposed (US-A 3 184 395), as well as ethylene-propylene copolymer (US-A-29 41 662), or also silicone rubber (WO 90/10690).

All these membranes have the property that they are gas permeable, i.e., they also allow the passage of oxygen molecules.

It has already been proposed to use a microporous stretched PTFE membrane, such as the one available commercially under the commercial name GORE-TEX (registered trademark of the company W. L. Gore & Associates). Because of their property to allow the passage of steam and air while retaining water, such membranes are processed on a large scale in the manufacture of sportswear. The manufacture of such membranes is described in US Patents 3 953 556 and 4 187 390.

Although membrane modules which are provided with a PTFE membrane are very generally suitable as reactors for "gaseous/liquid" substance exchange systems, it has been shown that, in the cleaning of waste gas with the help of microorganisms, too much oxygen is supplied to the microorganisms by the microporous membrane structure. This oxygen supply accelerates the growth, or the multiplication, of the microorganisms to such a degree that clogging of the membranes or membrane pouches is observed within a short time. The flow resistance of the membrane pouches then becomes so high that the membrane pouches are unable to mechanically withstand the pressure difference at which the work has to be carried out.

Therefore, a demand existed for a membrane which can be used primarily for the cleaning of waste gas with the help of microorganisms.

In the unpublished German Patent Application P 43 26 677.0 (Application Publication Date: August 9, 1993), a description is provided indicating that a microporous stretched PTFE membrane, which presents a surface covering, continuous coating made of a hydrophilic material, was found to be suitable. The hydrophilic material must have a water vapor permeability of at least 1000 g per meter square and day. Such properties are exhibited, for example, by polyurethane which is applied as a coating in a quantity of 1-15 g per meter square on the PTFE film. The hydrophilic layer, however, can also be a polyurethane, or a membrane made of polyfluorosulfonic acid.

The material compositions correspond to those used also in the garment industry. Thus, in US-A-41 94 041, a two-layer laminate is described which consists of a microporous PTFE layer and a hydrophobic layer, and which can also be used in the context of the present invention. Explicit reference is therefore made to the disclosure content of the above-mentioned US patent. Because the degree of effectiveness of the substance exchange is directly dependent on the thickness of the membrane, membranes are frequently used which are so thin that they have poor mechanical properties, for example, they tear easily. To prevent this, the membranes are connected preferably with an air-permeable carrier material, which can preferably be a fleece, a perforated film or a textile material. When this layered material is processed to a membrane, which is used with the present membrane module according to the invention, one must ensure that the carrier material does not lie on the membrane surface which comes in immediate contact with the liquid reaction mixture or a suspension of microorganisms, because such microorganisms penetrate into the porous structure of the carrier material and clog its pores. In membranes which are laminated with a carrier material, this carrier material must lie on the membrane's external side which is exposed to the gas stream (fluid stream) to be cleaned.

To prevent the difficulties of handling an asymmetric membrane, a symmetrically constructed membrane can also be used, where in that case the carrier material is enclosed between two microporous PTFE films, which are each coated with a hydrophilic material, preferably polyurethane. The advantages of this symmetric membrane structure are eliminated to a certain degree by its lower degree of effectiveness.

Furthermore, the present invention is based on the problem of providing an improved process for the manufacture of a membrane module to remove gaseous substances from a gas stream or liquid stream with the additional characteristics according to the preamble of Claim 28.

This process according to the invention is characterized by the sequence of the process steps according to the characterizing portion of Claim 28.

Additional advantageous process embodiments can be obtained from each of the dependent Claims 29-38.

Based on the manufacturing process according to the invention, in particular the fluid-conveying duct systems, which are arranged on top of each other and formed in each case from two membrane layers which are consecutive in the axial direction of the membrane module, are connected by the introduction or insertion of connections in such a way that these compounds in each case are substantially parallel to each other and form delimitations for adjacent flow-through ducts in each one of the duct systems, where these connections, from duct system to duct system, are oriented alternately in different directions at a fixed angle between each other, i.e., once substantially in the longitudinal direction, then substantially in the transverse direction, then again substantially in the longitudinal direction, and then again substantially in the transverse direction, etc., of the membrane module. To finish this membrane module, its external sides are then embedded in a hardenable joint sealing compound, to form thereby, as a result of hardening, for each system, on two facing external sides of the membrane module, lateral delimitation crosspieces or elements, which in each case are parallel to the direction orientation of the given connections in each one of the duct systems, and which form the laterally outermost connections, which lie in the plane of the corresponding membrane module external side, in each case between two membrane layers, which are consecutive in the axial direction. Then, in the areas of the hardened joint sealing compound which close the inlet and outlet openings of the flow-through ducts of, in each case, one duct system, which openings are located in the corresponding membrane module external side, the joint sealing compound is removed or ablated again by mechanical means until these inlet or outlet openings are cleared in the required manner.

On the basis of the membrane module according to the invention or the process according to the invention for manufacturing a membrane module, the special advantage is achieved in that a relatively high degree of effectiveness of the substance exchange is achieved, and in addition, for the construction of the membrane module according to the invention one can use membrane layers having relatively thin membrane thicknesses, because these membrane layers, due to the connections provided for them, present an increased stiffness and consequently can also be further processed substantially better.

In addition, in the membrane module constructed according to the invention, the flow-through ducts of the individual fluid-conveying duct systems can present a substantially rectangular cross section and consequently achieve a relatively high through-flow rate with a relatively low construction height. Finally, the manner of constructing the present module according to the invention, in comparison to the state of the art, possesses the advantages of simplicity and a low-cost manufacturing possibility.

The present invention will now be described in the context of an embodiment example, where reference is made to the drawings in the appendix.

In the drawings:

Figure 1 shows a schematic perspective view of a membrane module with a number of membrane layers which are stacked, parallel to each other, and stacked on top of each other, and with a number of fluid-conveying duct systems which are formed within a membrane module;

Figure 2 shows schematically a cross-sectional view through the membrane module according to Figure 1, along the imaginary cross-sectional plane A-B according to Figure 1; and

Figure 3 shows schematically a cross-sectional view through the membrane module according to Figure 1, namely along the imaginary cross-sectional plane C-D according to Figure 1.

As is apparent from the figures, a membrane module, which bears the reference numeral 1 as a whole, and is intended for removing gaseous substances from a gas stream, consists substantially of a number of flat membrane layers that are stacked on top of each other in the direction of the Y axis and are arranged parallel to each other, in the present embodiment example a total of six substantially rectangular membrane layers 2, 3, 4, 5, 6 and 7, which are manufactured from a gas-permeable, liquid-proof material, for example, a microporous expanded PTFE. However, the membrane layers can also consist of selective membranes, or membranes can be used that are provided with a selective layer, particularly in the case of the separation of CO<sub>2</sub> or H<sub>2</sub>S, for example.

Furthermore, within this membrane module 1, several fluid-conveying duct systems are formed which are also in the direction of the Y axis and stacked one above the other; in the present embodiment example there are five fluid-conveying duct systems I, II, III, IV and V in total. Each one of these duct systems presents several adjacent flow-through ducts, which are parallel to each other, where the duct systems I, III and V in each case contain several first flow-through ducts for the gas stream to be cleaned, while on the other hand, the duct systems II and IV each present several second flow-through ducts which are used to receive or allow the passage of a fluid reaction mixture or similar preparation, for example, a suspension of microorganisms. Thus, the above-described embodiment example of a membrane module contains duct systems I, III and V, which in practice are gas-conveying duct systems, while the duct systems II and IV in practice are fluid-conveying duct systems.

To construct these duct systems, in each case two membrane layers 2 and 3, 3 and 4, 4 and 5, 5 and 6, 6 and 7, respectively, which are consecutive in the direction of the Y axis of the membrane module 1, are connected to each other by corresponding connection crosspieces 8a, 8b, 8c and 8d, 11a, 11b, 11c and 11d, 14a, 14b, 14c and 14d, 17a, 17b, 17c, 17d, and 20a, 20b,

20c and 20d, respectively. In each one of the duct systems I-V, these crosspieces, which in each case are substantially parallel to each other, thus form the delimitations for the adjacent flow-through ducts of one duct system in each case, where these connection crosspieces 8a-8d, 11a-11d, 14a-14d, 17a-17d, and 20a-20d, respectively, from duct system to duct system, are oriented alternately in different directions that form substantially a 90° angle between each other, and thus a cross. In other words the connection crosspieces 8a-8d of the first duct system are substantially in the longitudinal direction (Z axis) of the membrane module 1; the connection crosspieces 11a-11d of the second duct system II are substantially in the transverse direction, i.e., in the direction of the X axis of the membrane module 1; the connection crosspieces 14a-14d of the third duct system are again substantially in the longitudinal direction (Z axis) of the membrane module 1; and then the connection crosspieces 17a-17d of the fourth duct system IV are again substantially in the transverse direction of the membrane module; and finally, the connection crosspieces 20a-20d of the fifth duct system V are oriented in the longitudinal direction of the membrane module 1. The connection crosspieces, as explained above, in general have dimensions so that they present a height in the range of 0.5-5 mm, preferably in the range of 1-2 mm, and a width in the range of 0.5-5 mm, preferably in the range of 1-2 mm.

Each one of the membrane layers 2-7 can also consist of a membrane which presents a first hydrophobic layer, which is a microporous stretched PTFE film, as well as a second hydrophilic layer, which is connected to a first layer and presents a water vapor permeability of more than 1000 g per m<sup>2</sup> and day. In particular, such a membrane presents a thickness of 0.01-0.5 mm, preferably a thickness of 0.05-0.2 mm.

The flow-through ducts, which are located in each case on the external sides of the membrane module 1, must additionally be sealed by external coating walls in each case, and for this purpose, each one of the duct systems I-V is delimited on two facing external sides of the membrane module 1 by lateral delimitation crosspieces 9, 10, and 12, 13, and 15, 16, and 18, 19, and 21, 22, respectively, where these delimitation paths in each case are parallel to the direction orientation of the given connection crosspieces 8a-8d, 11a-11d, 14a-14d, 17a-17d, and 20a-20d, respectively, in each one of the duct systems I, II, III, IV, and V, respectively. These delimitation rods, as explained above, thus form the laterally outermost connections, which lie in the plane of the corresponding membrane module external sides, in each case between two membrane layers 2, 3, and 3, 4, and 4, 5, and 5, 6, and 6, 7, respectively, which are consecutive in the axial direction, i.e., in the direction of the Y axis.

These external delimitation rods in each case consist preferably of a hardenable joint sealing compound. To achieve this, the external sides of the membrane module 1, after the latter has been finished by stacking the membrane layers 2-7 and by the construction of the connection crosspieces, which in each case connect the facing membrane layers as explained above, are



preferably embedded in a hardenable joint sealing compound, for the purpose of thereby forming the delimitation rods, as explained above, after the hardening of the joint sealing compound for each duct system I, II, III, IV and V on two facing external sides of the membrane module 1, which are each parallel to the direction orientation of the given connection crosspieces in each one of the duct systems, and which thus form the laterally outermost connections, which lie in the plane of the corresponding membrane module external side, in each case between two membrane layers 2, 3, and 3, 4, and 4, 5, and 5, 6, and 6, 7, respectively, which are consecutive in the axial direction, i.e., in the direction of the Y axis. After the completion of this process, in the areas of the hardened joint sealing compound, which first close the inlet and outlet openings located in the corresponding membrane module external side of the individual flow-through ducts of one duct system in each case, the joint sealing compound is again removed, preferably ablated by mechanical means, until these inlet and outlet openings are cleared in the required manner.

The connection crosspieces 8a-8d, 11a-11d, 14a-14d, 17a-17d, and 20a-20d, respectively, can be constructed, for example, from PVC injection molded parts.

The membrane module 1, as described above in the context of an embodiment example, thus in total consists of the following five fluid-conveying duct systems: a first duct system I, which contains five parallel adjacent flow-through ducts for the gas stream to be cleaned, where the flow directions in the Z axis are marked PFI<sub>1</sub>, PFI<sub>2</sub>, PFI<sub>3</sub>, PFI<sub>4</sub> and PFI<sub>5</sub>. A second duct system II, which presents five parallel adjacent flow-through ducts for "washing water," where the flow directions through these flow-through ducts form a right angle with the flow-through ducts of the first duct system, that is, they run in the direction of the X axis and are marked by the arrows PFII<sub>1</sub>, PFII<sub>2</sub>, PFII<sub>3</sub>, PFII<sub>4</sub> and PFII<sub>5</sub>.

A third duct system III, which again presents five parallel adjacent flow-through ducts in the direction of the Z axis, where through these ducts, the gas stream to be cleaned flows again in the indicated directions in the direction of the Z axis, marked by PFIII<sub>1</sub>, PFIII<sub>2</sub>, PFIII<sub>3</sub>, PFIII<sub>4</sub> and PFIII<sub>5</sub>.

A fourth duct system IV, which again presents five parallel adjacent flow-through ducts for "washing water," where the flow directions are oriented in the same way as in the duct system II in the X axis, marked by PFIV<sub>1</sub>, PFIV<sub>2</sub>, PFIV<sub>3</sub>, PFIV<sub>4</sub> and PFIV<sub>5</sub>.

Finally, a fifth duct system V, which presents five parallel adjacent flow-through ducts for the gas stream to be cleaned, where the flow directions are again in the Z axis, in the same way as in the duct systems I and III, now marked by PFV<sub>1</sub>, PFV<sub>2</sub>, PFV<sub>3</sub>, PFV<sub>4</sub> and PFV<sub>5</sub>.

As already explained, the fluid-conveying duct systems I-V, which are consecutive in the axial direction in the membrane module 1, are separated by a membrane layer from each other by their respective flow-through ducts I, i.e., the membrane layer 3 forms a delimitation wall

between the duct system I and the duct system II; the membrane layer 4 forms a delimitation wall between the duct system II and the duct system in [sic]; the membrane layer 5 forms a delimitation wall between the duct system in [sic] and the duct system IV; and, finally, the membrane layer 6 forms a delimitation wall between the duct system IV and the duct system V. Consequently, the wanted "gaseous-fluid" substance exchange occurs between the duct systems I-V, which are arranged on top of each other in the direction of the Y axis, as already explained above.

Moreover, the above-described membrane module can be used not only for cleaning gases, but also for cleaning fluids.

#### Claims

1. Membrane module for removing gaseous substances from a gas stream (fluid stream) with a plurality of flat membrane layers arranged in a stack, substantially parallel to each other and one above the other, and which consist of a gas-permeable, liquid-proof material, where within the membrane module, a plurality of fluid-conveying duct systems is formed, which systems on the one hand consist of first flow-through ducts for the gas stream to be cleaned (fluid stream) and on the other hand of second flow-through ducts for a liquid reaction mixture or a similar preparation ("washing water"), and where in each case at least one delimiting wall is formed between the first and second flow-through ducts, which are consecutive in the axial direction, by one of the membrane layers, characterized in that for the formation of the fluid-conveying duct systems (I-V) which are arranged on top of each other, in each case, two membrane layers (2, 3, and 3, 4, and 4, 5, and 5, 6, and 6, 7, respectively), which are consecutive in the axial direction of the membrane module (1), are connected to each other by connections (8a-8d, and 11a-11d, and 14a-14d, and 17a-17d, and 20a-20d, respectively), which connections are substantially parallel to each other and form delimitations for adjacent flow-through ducts of, in each case, one-duct systems (I-V), and in that the connections from duct system to duct system are oriented alternately in different directions at a fixed angle with respect to each other, i.e., once substantially in the longitudinal direction, then substantially in the transverse direction, and then again substantially in the longitudinal direction, and again substantially in the transverse direction, etc., of the membrane module (1).

2. Membrane module according to Claim 1, characterized in that the alternating orientations of the connections are crosswise, i.e., in each case at angles of substantially 90°.

3. Membrane module according to Claim 1 or 2, characterized in that the connection is designed substantially linear or nearly linear.

4. Membrane module according to Claim 3, characterized in that the connections are formed by glue lines or glue beads.

5. Membrane module according to Claim 1 or 2, characterized in that the connections are formed by crosspiece-shaped connection elements.

6. Membrane module according to one of Claims 1-4, characterized in that the connections consist of a thermoplastic material that hardens when cooled, such as polyethylene, polypropylene, polyester, or of a high-temperature thermoplast, such as, for example, fluorinatedethylene-propylene copolymer or perfluoroalkoxy or a similar compound.

7. Membrane module according to one of Claims 1-4, characterized in that the connections consist of a glue, such as a one-component glue or a multicomponent glue, or a similar substance.

8. Membrane module according to one of Claims 1-4, characterized in that the connections consist of prefabricated glue or plastic nets.

9. Membrane module according to one of Claims 1-4, characterized in that the connections consist of plastic welding wires.

10. Membrane module according to one of Claims 1-5, characterized in that the connections consist substantially of linear or crosspiece-shaped injection molded parts, for example, made of PVC.

11. Membrane module according to one of the preceding claims, characterized in that the connections have dimensions such that they present a height in the range of 0.5-5 mm, preferably in the range of 1-2 mm.

12. Membrane module according to one of the preceding claims, characterized in that the connections have dimensions such that they present a width in the range of 0.5-5 mm, preferably in the range of 1-2 mm.

13. Membrane module according to one of the preceding claims, characterized in that each one of the membrane layers (2-7) consists of a microporous membrane.

14. Membrane module according to Claim 13, characterized in that the membrane consists of a stretched PTFE.

15. Membrane module according to one of the preceding claims, characterized in that each one of the membrane layers (2-7) consists of a selective membrane, or of a membrane provided with a selective layer.

16. Membrane module according to one of the preceding claims, characterized in that each one of the membrane layers (2-7) consists of a membrane which presents a first hydrophobic layer, which is a microporous stretched PTFE film, as well as a second hydrophobic layer, which is connected to the first layer and possesses a water vapor permeability of more than 1000 g per m<sup>2</sup> and day.

17. Membrane module according to Claim 16, characterized in that the membrane presents a thickness of 0.01-0.5 mm, preferably 0.05-0.2 mm.

18. Membrane module according to Claim 16 or 17, characterized in that the hydrophilic layer is a coating of polyurethane.

19. Membrane module according to Claim 18, characterized in that the coating is applied in a quantity of 5-15 g per m<sup>2</sup>.

20. Membrane module according to Claim 16 or 17, characterized in that the hydrophilic layer is polyether polyurethane.

21. Membrane module according to Claim 16 or 17, characterized in that the hydrophilic layer is a membrane made of perfluorosulfonic acid.

22. Membrane module according to one of Claims 16-21, characterized in that the hydrophobic layer and the hydrophilic layer form a laminate.

23. Membrane module according to one of Claims 16-22, characterized in that the membrane is connected to an air-permeable carrier material which consists preferably of fleece, perforated film or textile.

24. Membrane module according to Claim 23, characterized in that the carrier material is enclosed between two membranes.

25. Membrane module according to Claim 24, characterized in that the hydrophilic layer of the membrane lies on the membrane's external side against which the gas stream (fluid stream) to be cleaned flows.

26. Membrane module according to one of the preceding claims, characterized in that each duct system (I-V) is delimited at two facing external sides of the membrane module (1) by lateral delimitation crosspieces (9, 10; 12, 13; 15, 16; 18, 19; 21, 22), which each run parallel to the direction of orientation of the associated connections (8a-8d; 11a-11d; 14a-14d; 17a-17d; 20a-20d) in each one of the duct systems, and which form the laterally outermost connections, which lie in the plane of the corresponding membrane module external sides, in each case between two membrane layers (2, 3; 3, 4; 4, 5; 5, 6; 6, 7), which are consecutive in the axial direction.

27. Membrane module according to Claim 26, characterized in that the delimitation crosspieces (9, 10; 12, 13; 15, 16; 18, 19; 21, 22) consist of a hardenable joint sealing compound.

28. Process for manufacturing a membrane module for removing gaseous substances from a gas stream (fluid stream) with a plurality of flat membrane layers, which are arranged in a stack, substantially parallel to each other, and one above the other, and which consist of a gas-permeable, liquid-proof material, where within the membrane module, a plurality of fluid-conveying duct systems is formed, which systems on the one hand consist of first flow-through ducts for the gas stream to be cleaned (fluid stream) and on the other hand of second flow-through ducts for a liquid reaction mixture or a similar preparation ("washing water"), and where in each case at least one delimiting wall is formed by one of the membrane

layers, between the first and second flow-through ducts, which are consecutive in the axial direction, particularly for manufacturing a membrane module according to one of Claims 1-24, characterized in that, for the formation of fluid-conveying duct systems which are arranged on top of each other, in each case two membrane layers, which are consecutive in the axial direction of the membrane module, are connected to each other by the introduction or the insertion of connections in such a way that these connections in each case are substantially parallel to each other and form delimitations for adjacent flow-through ducts of one-duct system in each case, and from duct system to duct system, the connections are oriented alternately in different directions at a fixed angle with respect to each other, i.e., once substantially in the transverse direction, and then substantially in the transverse direction, and then again substantially in the longitudinal direction, and again substantially in the transverse direction, etc., of the membrane module (1).

29. Process according to Claim 28, characterized in that the alternating orientations of the connections are substantially crosswise, i.e., in each case at angles of substantially 90°.

30. Process according to Claim 28 or 29, characterized in that substantially linear or nearly linear connections are formed.

31. Process according to Claim 30, characterized in that the connections are formed by glue lines or glue beads.

32. Process according to Claim 28 or 29, characterized in that the connections are formed by crosspiece-shaped connection elements.

33. Process according to one of Claims 28-31, characterized in that the connections in each case are prepared from a thermoplastic material which hardens when cooled, such as polyethylene, polypropylene, polyester, or from a high-temperature thermoplast, such as, for example, fluorinatedethylene-propylene copolymer or perfluoroalkoxy, or a similar compound.

34. Process according to one of Claims 28-31, characterized in that the connections are prepared from a glue, such as, for example, a one-component glue or a multicomponent glue, or a similar substance.

35. Process according to one of Claims 28-31, characterized in that the connections are made from prefabricated glue nets.

36. Process according to one of Claims 28-31, characterized in that the connections are made from plastic welding wires.

37. Process according to one of Claims 28-32, characterized in that the connections are constructed from substantially linear or crosspiece-shaped injection molded parts, which are preferably made of PVC.

38. Process according to one of Claims 28-37, characterized in that the external sides of the membrane modules are embedded in a hardenable joint sealing compound, for the purpose of

forming thereby, after its hardening, two lateral delimitation crosspieces for each duct system, on two facing external sides of the membrane module, which delimitation crosspieces are each parallel to the direction of orientation of the respective connections in each one of the duct systems, and they form the laterally outermost connections, which lie in the plane of the corresponding membrane module external side, in each case between two membrane layers, which are consecutive in the axial direction, and in that then, in the areas of the hardened joint sealing compound, which close the inlet and outlet openings of the flow-through ducts of one duct system in each case, which openings are in the corresponding membrane module external side, the joint sealing compound is removed again or ablated by a mechanical process until these inlet or outlet openings are cleared in the necessary way.

